

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ СВЕРХПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В СПЛАВАХ СИСТЕМЫ Al-Mg-Mn-Cr

Яковцева О.А., Михайловская А.В., Левченко В.С.

Научный руководитель - профессор, д.т.н. Портной В.К.

НИТУ «МИСиС», г. Москва

yakovtseva@mail.ru

Широко применяемы сплавы системы Al-Mg-Mn-Cr для сверхпластической формовки, благодаря высокой прочности, коррозионной стойкости, хорошей формруемости. За формирование мелкого зерна в сплаве кроме магния, отвечают добавки марганца и хрома, образующие дисперсоиды [1–2]. Для разработки новых сплавов и получения нужных свойств, в сплавах важно знать механизмы сверхпластической деформации (СПД). В работе проводили исследования механизмов СПД и структурных изменений при деформации в сплавах системы Al – Mg – Mn – Cr с добавкой хрома и без нее.

Объектами исследования являлись сплавы Al–4,9%Mg–0,6%Mn и Al–4,9%Mg–0,6%Mn– 0,25%Cr, которые гомогенизировали после литья при 480 °C в течение 6 ч, а затем проводили горячую ($\varepsilon = 80\%$, $t = 420$ °C) и холодную ($\varepsilon = 70\%$) прокатку до конечной толщины листа 1 мм.

Микроструктуру образцов изучали с помощью микроскопа “Neophot – 30” в обычном и поляризованном свете. Для изучения механизмов СПД наносили маркерную сетку, для чего использовали фокусированный ионный пучок (ФИП) в микроскопе STRATA FIB-2051³. Структуру поверхности образцов до и после деформации изучали при помощи ФИП и в сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) TESCAN VEGA LMN.

Введение 0,25 %Cr обеспечивает более мелкое исходное перед СПД (после 20 мин. отжига при 550 °C) зерно. В сплаве без хрома средний размер зерна составил $15,4 \pm 0,4$ мкм, а в сплаве с хромом $7,9 \pm 0,5$ мкм [3]. Измельчение зерна происходит за счет формирования более дисперсных частиц в холоднокатаном листе в присутствие хрома [4,5]. В процессе СПД происходит рост зерен [3], встречается деление их на части с появлением мелких зерен у границ, что так же наблюдали в работе.

Для исследования механизмов СПД образцы с маркерной сеткой деформировали при оптимальном режиме СПД при температуре 550 °C и скорости $1 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ [3]. Деформацию проводили последовательно на 0,07, 0,31 и 0,37. В СЭМ снимали панораму поверхности образцов с маркерной сеткой (рис. 1) и затем рассчитывали вклады механизмов СПД по смещению маркеров.

³ Использовано оборудование Центра коллективного пользования «Металловедение и металлургия» НИТУ «МИСиС»

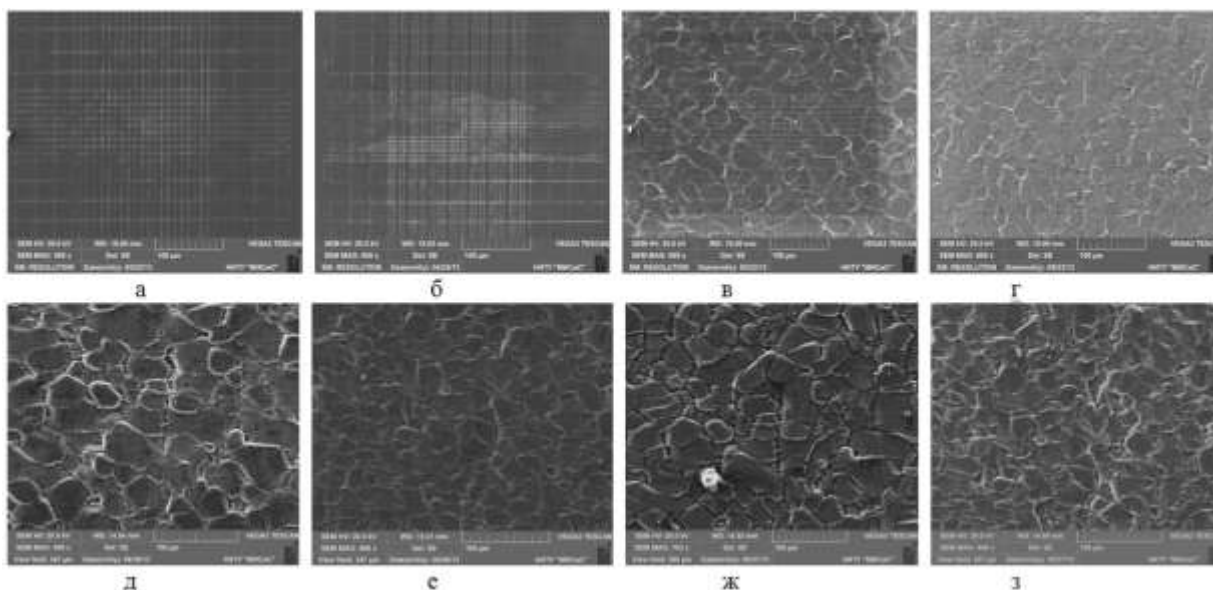


Рис. 1 – Поверхность образцов сплавов без добавки хрома (а, в, д, ж) и с добавкой хрома (б, г, е, з) в СЭМ: исходная (а, б), после 0,07(в, г), 0,31(д, е) и 0,37(ж, з) деформации

В сплаве без хрома наблюдается вытягивание зерен, смещение по границам и сильные развороты зерен при увеличении степени деформации. При этом деформация происходит во всем объеме зерна, о чем свидетельствует появление множества складок оксида на поверхности [6]. В сплаве с хромом деформация локализуется вдоль границ, где формируется большое число складок на поверхности, а деформации всего зерна не наблюдаем. Смещения царапин и развороты зерен в сплаве без

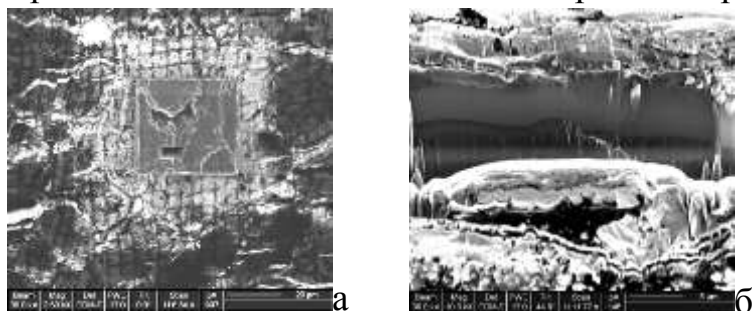


Рис. 2 – Пример снимков ионного травления поверхности сплава с хромом (а) и граница зерен под складками оксида (б) (под углом 45°)

хрома заметны уже на первых ступенях деформации, в сплаве с хромом при малых степенях деформации таких эффектов не наблюдали, а маркеры только изгибаются в приграничной области. Как показал ФИП анализ поверхности образцов и поперечных срезов (рис. 2) под складками оксида проходят границы зерен [6].

Был посчитан относительный вклад зернограницного (ЗГС) и внутризеренного дислокационного скольжения (ВДС) в обоих сплавах. В сплаве с добавкой хрома вклад ЗГС составил 10 % после деформации 0,07 и процессе деформации до 0,37 доля вклада ЗГС в пределах ошибки не меняется. В сплаве без добавки хрома вклад ЗГС составил 28 % после деформации 0,07, а в после деформации 0,37 уменьшился до 10%. Вклад

ВДС в сплаве с добавкой хрома меньше - после деформации 0,07 составил 54%, а в сплаве без хрома – 71%.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ (соглашение №12-03-31164/12) и Гранта Президента РФ (договор №14.125.13.232-МК).

Список использованных источников

1. Портной В.К., Рылов Д.С., Левченко В.С., Алалыкин А.А. Сверхпластичный магналий для повышенных скоростей сверхпластической формовки. Цветные Металлы, 2005, №1, С. 84-87.
2. Новиков И.И., Портной В.К. Особенности сверхпластической деформации некоторых алюминиевых сплавов. Изв. вузов. Цветная металлургия, 2001, № 4, С. 4-11.
3. Яковцева О.А., Михайловская А.В., Портной В.К. Структурные изменения при сверхпластической деформации сплавов системы Al-Mg-Mn-Cr. Письма о материалах т.3 (2013) 122-125.
4. Д.С. Рылов. Исследование и разработка алюминиевого сплава для сверхпластической формовки с повышенными скоростями деформации: Дис. канд. техн. наук. – М., 2005.
5. Позднякова А.В., Портной В.К. Особенности структурных изменений при сверхпластической деформации сплава АМг4. // Изв. вузов. Цветная металлургия. – 2004.– №1.
6. M.A. Rust, R.I. Todd. Surface studies of Region II superplasticity of AA5083 in shear: Confirmation of diffusion creep, grain neighbor switching and absence of dislocation activity. – Acta Materialia 59 (2011) 5159–5170.